دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

فیزیک خاک

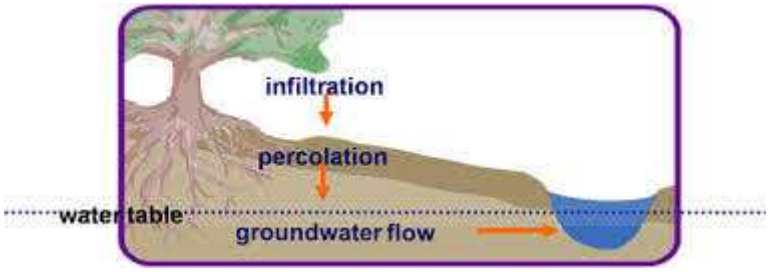
تهیه و تنظیم

حیدر غفاری

نفوذ آب در خاک

مقدمه:

یکی از خ صو صیات فیزیکی خاک نفوذ آب به داخل خاک می‌با شد. نفوذ بر ح سب تعریف عبارت ست از وارد شدن آب از سطح خاک به داخل آن (Infiltration)، در حالیکه حرکت آب داخل خاک به سمت سفره آب زیر زمینی را percolation یا hydraulic conductivity می‌گویند.

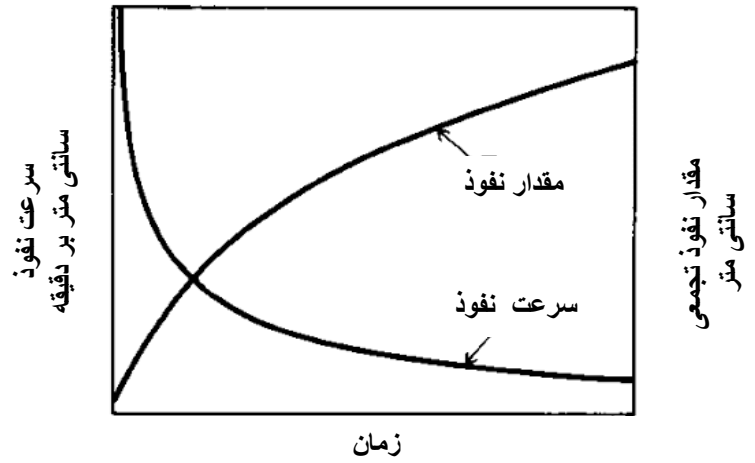


نفوذپذیری یکی از مهمترین پارامترهای خاک است. شرایط فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک، بافت خاک، رطوبت اولیه خاک و شـــرایط فیزیولوژیک خاک مانند خلل و فرج ایجاد شـــده توســـط کرمها و...و همچنین کیفیت آب خاک و دمای آب در نفوذ آب در خاک تاثیر دارند.

در رابطه با نفوذ آب به داخل خاک دو اصطلاح وجود دارد: ۱) مقدار نفوذ و ۲) سرعت نفوذ

مقدار نفوذ (I) یعنی مقدار آبی که از آغاز فرایند نفوذ تا لحظه مورد نظر در خاک نفوذ کرده است. واحد نفوذ تجمعی سانتیمتر یا هر واحد دیگر طول است. چنانچه مقدار نفوذ تجمعی آب به داخل خاک را بررسی کنیم، مشاهده می‌شود که نفوذ تجمعی در ابتدا بسیار سریع انجام می‌شود، بطوریکه منحنی تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان (I-T) در ابتدا دارای شیب تندی است و در طول زمان مقدار شیب آن رفته رفته کاهش می یابد تا به مقدار شیب ثابتی می‌رسد.

سرعت نفوذ (i)، بیانگر سرعت وارد شدن آب از سطح خاک به داخل خاک ا ست و واحد آن سانتی‌متر بر ساعت یا هر واحدی از طول بر هر واحدی از زمان ا ست. سرعت نفوذ به دو حالت سرعت نفوذ لحظه ای و ســـرعت نفوذ متوســـط قابل بیان اســـت. ســـرعت نفوذ نیز همانند مقدار نفوذ در ابتدای فرایند زیاد بوده و با گذ شت زمان کاهش پیدا می کند تا به یک عدد ثابت بر سد. این عدد ثابت همان هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک است. سرعت نفوذ به لحاظ ریاضی بیانگر شیب منحنی مقدار نفوذ در هر نقطه می باشد. اگر از معادله مقدار نفوذ مشتق گرفته شود، معادله سرعت نفوذ بدست می آید.



علت زیاد بودن شیب منحنی نفوذ تجمعی در زمان‌های اولیه این است که در ابتدا خاک خشک تر و دارای پتانسیل مکش (ماتریک) بیشتری است. بدین معنا که آب در ابتدا تحت تاثیر نیروی های ثقل و موییینگی به داخل خاک نفوذ می‌کند. ولی پس از گذشت زمان و با افزایش رطوبت خاک خاصیت موییینگی اثر خود را در حرکت آب به سمت پایین از دست می‌دهد و آب تنها تحت اثر نیروی ثقل نفوذ می‌کند، لذا به تدریج یکی از نیروی های عامل حرکت آب حذف شده و سرعت نفوذ کاهش میابد.

بنابراین سرعت نفوذ (i) یا شیب منحنی تجمعی نفوذ به مقدار رطوبت خاک (θ) وابسته است و با آن نسبت عکس دارد. ولی باید توجه داشت که مقدار سرعت نفوذ هیچگاه به صفر نخواهد رسید بلکه در زمان بی‌نهایت به مقدار ثابتی خواهد رسید. این مقدار ثابت معادل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است.

$$i\ (cm/min) = \Delta I / \Delta t$$

که در آن i سرعت نفوذ و I نفوذ تجمعی و t زمان است.

روش حلقه های مضاعف:

به منظور اندازه گیری میزان نفوذ آب به داخل خاک معمولا از حلقه های ساده یا مضاعف (Double rings) می‌توان استفاده کرد که به حلقه های نفوذ معروف هستند. استوانه های مضاعف ابزار های ساده ای هستند که برای تعیین نفوذ پذیری آب در خاک بکار می روند. حلقه ها مقداری در خاک فرو برده شـــده و با آب (ترجیحا آب منطقه مورد آزمون) پر میشـــوند. ســـپس ســـرعت نفوذ آب اندازه‌گیری می‌شـــود. حلقه بیرونی گسترش جانبی آب را محدود می نماید. آزمایش نفوذ در حلقه داخلی انجام می شود.

مجموعه استاندارد این ابزار، شامل سه حلقه بزرگ و سه حلقه کوچک می باشد (سه جفت حلقه کوچک و بزرگ). وجود ســه حلقه امکان برقراری همزمان ســه آزمون و حصــول داده های میانگین و همچنین صــرفه جویی در زمان آزمون ها را میسر خواهد ساخت. علاوه بر این سه جفت حلقه مضاعف، مجموعه ابزار شامل یک چکش لاستیکی و یک هد چکش خور و یک خط کش و ۲ عدد قلاب می باشد. قطر استوانه های طوری

انتخاب شده ا ست که درون همدیگر قرار گیرند. این عمل موجب سهولت حمل و نقل و ا شغال کمتر ف ضا خواهد شد. قسمت پایین استوانه ها دارای لبه تیز بوده تا به آسانی در خاک فرو رود. ارتفاع استوانه ۳۵ سانتیمتر و قطر میانگین استوانه بزرگ ۶۰ و قطر استوانه کوچک ۳۰ سانتیمتر می باشد.

هدف از ا ستقرار ا ستوانه بزرگ بیرونی ا شباع نمودن خاک زیر اطراف ا ستوانه کوچکتر میبا شد به نحوی که آب نفوذ کرده از استوانه کوچک تر تنها صرف اشباع و نفود در زیر استوانه کوچک شود و جذب اطراف نشود. استوانه های مضاعف، برای اندازه گیری نفوذ در هر نوع خاک و انجام پروژه های کاربردی آبیاری، زهکشی، آبهای زیر زمینی، حوزه های نفوذ و آبخوان داری مناسب می باشد. معمولا ارتفاع هر دو استوانه ۳۰ سانتیمتر بوده و قطر حلقه بزرگتر ۳۰-۴۵ سانتیمتر و قطر حلقه کوچکتر ۲۰-۲۵ سانتیمتر می باشد

روش کار:

برای انجام آزمایش هر دو حلقه آهنی روی خاک قرار داده می شوند. حلقه ها تو سط یک پتک در حدود ۱۰ سانتی متر در خاک فرو می‌روند. ابتدا بین دو حلقه مقداری آب به ارتفاع h می ریزیم که حدودا معادل آبیاری کرتی در آبیاری در مزرعه می باشد. زمانی که فقط در بین دو حلقه آب وجود دارد، بدلیل خشک بودن خاک نفوذ هم در جهت عمودی و هم در جهت افقی وجود دارد. در مرحله بعد داخل استوانه میانی یک پلاستیک قرار داده می‌شود تا از دست خوردگی و بر هم خوردن ساختمان خاک جلوگیری شود. سپس به همان ارتفاع h در استوانه داخلی یعنی بر روی پلاستیک قرار گرفته در حلقه داخلی آب ریخته می‌شود. زمان را صفر کرده و در یک لحظه پلاستیک را بر داشته و کرنومتر را به کار می‌اندازیم. یک اشل در داخل حلقه میانی قرار داده می‌شود تا توسط آن مقدار نفوذ لحظه ای را با اندازه گیری ارتفاع آب در حلقه داخلی بد ست آوریم. در این حالت چون خاک اطراف ا ستوانه کوچک تقریبا ا شباع شده ا ست، نفوذ آب از حلقه داخلی فقط عمودی خواهد بود.

پس از شروع آزمایش، مقادیر h و زمان t در لحظات مختلف تا نهایت ۳۰ دقیقه یادداشت می‌شوند.

محاسبات

سرعت نفوذ را برای هر فاصله زمانی با استفاده از فرمول زیر حساب کنید.

$$i\ (cm/min) = \Delta I / \Delta t$$

۱. نمودار مربوط به زمان (دقیقه) و مقدار نفوذ تجمعی آب (سانتیمتر) را رسم کنید.

۲. نمودار مربوط به زمان (دقیقه) و سرعت نفوذ آب (سانتیمتر بر دقیقه) در فواصل زمانی مختلف رسم کنید.

۳. نمودار زمان و مقدار نفوذ را بر اساس لگاریتم رسم کنید و ضرایب مدل کوستیاکوف آن را پیدا کنید.

۴. از طریق حل دو معادله دو مجهولی ضرایب مدل کاستیاکوف را بدست آوردید.

معادلات نفوذ:

برای آن‌که پدیده نفوذ به‌صورت نظری توصیف شود معادل‌های مختلفی ارائه شده است. تعداد این معادله‌ها نسبتاً زیاد است. که پاره‌ای از آنها بسیار پیچیده می‌باشند به‌طوری که حل آنها بدون استفاده از ماشین‌های محاسب عملی نیست اما تعدادی معادله ساده نیز توسط متخصصان ارائه شده است

معادله کوستیاکوف (Kostiakov)

یکی از اولین معادله‌هایی که برای توصیف نغوذ آب به داخل خاک ارائه شده است معادله کوستیاکوف می‌باشد. این معادله به‌شرح زیر است:

$$I=c\ (t)^{a}$$

I = عمق آب نفوذ یافته (سانتی‌متر، cm) از شروع نفوذ

t = زمان نفوذ (از شروع)، دقیقه، min

a , c = ضرایب تجربی که به نوع خاک بستگی دارند

معادله کوستیاکوف برای دوره‌های زمانی کوتاه نتایج رضایت‌بخشی به‌دست می‌دهد.

منظور از زمان کوتاه یعنی حدود چند ساعت که چون در سیستم‌های آبیاری سروکار با حدود همین چند ساعت است لذا این معادله در طراحی سیستم آبیاری کاربرد زیادی دارد. در واقع معادله کوستیاکوف فقط تا زمانی صادق است که سرعت نفوذ آب در خاک معادل ضریب آب‌گذری اشباع خاک (هدایت هیدرولیکی) نشده و هنوز در مراحل ابتدائی نفوذ آب در خاک هستیم. چنانکه توضیح داده شد در زمان طولانی نرخ نفوذ به مقدار ثابتی میرسد که همان ضریب آبگذری اشباع خاک است.

اگر از معادله فوق مشتق گرفته شود، معادله سرعت بدست می آید:

$$i=a\ c\ (t)^{a-1}$$

برای تعیین ضرایب مدل، می توان مقدار نفوذ را در برابر زمان توسط نرم افزاری مانند اکسل رسم کرد و معادله ای از نوع توانی power را بر آن برازش داد. از روی نمودار ضرایب مدل بدست می آید.

روش دیگر این است که از دو طرف معادله کوستیکوف ln بگیرید،

$$\rightarrow \ln I = \ln c + a \ln t$$

کافی است برای دو فاصله زمانی مختلف مقدار I و t را قرار دهید. دو معادله دو مجهولی بدست می آید که با حل کردن آنها ضرایب بدست می آیند. در این روش مقادیر بدست آمده تقریبی هستند.

و یا برای تمام نقط اندازه گیری شده ln I را در برابر ln t رسم کنید. در این حالت یک خط بدست می آید که عرض از مبدا آن برابر است با ln a و شیب خط برابر است با c

برای به دست آوردن سرعت نفوذ کافی است از معادله مقدار نفوذ تجمعی مشتق گرفته شود.

معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (Soil Conservation Service)

معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (Soil Conservation Service) کارشناسان سازمان حفاظت خاک آمریکا بر اساس معادله کوستیاکوف آزمایش‌های زیادی در مزارع انجام دادند که نهایتاً منجر به روشی در محاسبه نفوذ گردید که به معادله سازمان حفاظت خاک (SCS) معروف است. این معادله عبارت است از:

$$I= a (t)^b + c$$

به‌طوری‌که مشاهده می‌شود این معادله تقریباً مشابه معادله کوستیاکوف می‌باشد با این تفاوت که ضریب c به آن اضافه شده است. در این معادله I و t به ترتیب نفوذ تجمعی و زمان می‌باشند که a می‌تواند برحسب اینچ یا سانتی‌متر توصیف شود. ضرایب a و b مربوط به نوع خاک می‌باشند. البته a بسته به اینکه مقدار نفوذ برحسب اینچ یا سانتی‌متر محاسبه شود متفاوت است اما b فقط بستگی به نوع خاک دارد.

برای پیدا کردن ضرایب معادل SCS ابتدا باید نتایج آزمایشات صحرائی را روی این نمودار آورد تا مشخص شود که نتایج به‌دست آمده با کدام‌یک از این منحنی‌ها بیشترین مطابقت را دارد.

معادله فیلیپ (Philip)

معادله فیلیپ (Philip) معادله دیگری که تا اندازه‌ای پیچیده‌تر است معادله فیلیپ می‌باشد. این معادله به‌صورت زیر است:

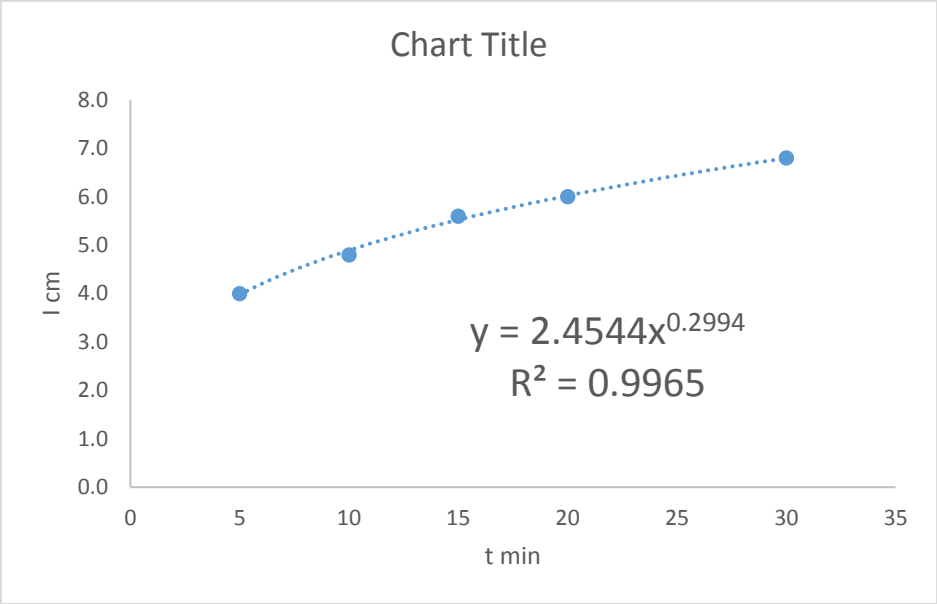
$$I=Sp(t)^{0.5}+Ap(t)$$

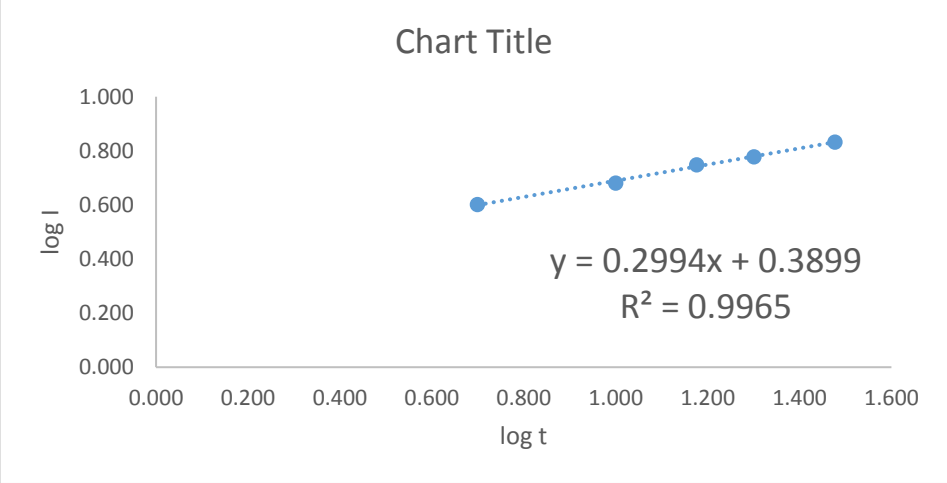
I = عمق آب نفوذ یافته از شروع نفوذ، cm
t = زمان نفوذ (از شروع)، min
Sp = ضریب ثابت مربوط به جذب آب، cm/(min) 0.5
Ap = ضریب ثابت مربوط به آب‌گذری، cm/min

در اوایل فرآیند نفوذ ضریب ثابت جذب آب غالب است ولی در اواخر نفوذ ضریب ثابت آب‌گذری غالب می‌شود. ضریب ثابت آب‌گذری تقریباً مساوی ضریب هدایت هیدرولیکی خاک است. تجربه نشان داده است که معادله فیلیپ برای دوره‌های طولانی‌تر یعنی بیشتر از چند ساعت نتایج بهتری به‌دست می‌دهد.

مثال:

t min	I cm	log t	log I	متوسط سرعت نفوذ cm/min	سرعت نفوذ لحظه ای cm/min
۰	0.0	#NUM!	#NUM!		
۵	4.0	0.70	0.60	0.80	0.80
۱۰	4.8	1.00	0.68	0.48	0.16
۱۵	5.6	1.18	0.75	0.37	0.16
۲۰	6.0	1.30	0.78	0.30	0.08
۳۰	6.8	1.48	0.83	0.23	0.08





(-) 0.68 = log a + c * 1

0.78 = log a + c * 1.3 >>> 0.10 = c * 0.3 >>> $c = \frac{0.1}{0.3} = 0.33$

جایگذاری در معادله >>> log a = 0.68 – 0.33 = 0.35 >>> a = 10^0.35= 2.24